

## Nutritional status of custard apple (*Annona squamosa*) as a function of nitrogen fertilizing and humic substances

El estado nutricional de la chirimoya (*Annona squamosa*) en términos de nitrógeno y sustancias húmicas

M.S. Cunha<sup>1</sup>, G.B. Silva Júnior<sup>1</sup>, Í.H.L. Cavalcante<sup>1</sup>, E.M. Santos<sup>1</sup>  
F.G. Albano<sup>1</sup> y L.F. Rocha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomy, Federal University of Piauí, Campus Profa Cinobelina Elvas, Piauí State, Brazil.

<sup>2</sup>Department of Soil Science and Rural Engineering, Federal University of Paraíba, Paraíba State, Brazil.

### Abstract

Custard apple is most economically important species among *Annona* species, especially in northeast and southeast Brazilian regions. In this sense, the present study aimed to evaluate the nutritional status of custard apple as a function of nitrogen fertilizing and humic substances in Brazil. The experimental design was randomized blocks with treatments distributed in a factorial arrangement (4 x 2) referring to nitrogen doses (0, 100, 175 e 250 g of N plant<sup>-1</sup>) and humic substances application in the soil (with and without humic substances), with four replications. Custard apple foliar contents of nitrogen, potassium, calcium, magnesium and sulfur, under the same nitrogen fertilizing doses, depend on humic substances. Under soil, climate and plant age conditions, it is not necessary nitrogen fertilization for custard apple nutrition, whether humic substances are used. Humic substances positively affected nitrogen absorption.

**Key words:** *Annona squamosa*, plant nutrition, humic acids.

### Resumen

Chirimoya es la especie de *Annona* de mayor importancia económica, especialmente en las regiones del noreste y sureste de Brasil. En este sentido, el estudio tuvo como objetivo evaluar el estado nutricional de la chirimoya en función de las sustancias fertilizantes: nitrógeno y ácidos húmicos en Brasil. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo de tratamientos en un diseño factorial (4 x 2) referente a nitrógeno (0, 100, 175 y 250 g de N planta<sup>-1</sup>) y la

aplicación de sustancias húmicas en el suelo (con y sin sustancias húmicas), con cuatro repeticiones. Los contenidos foliares de la chirimoya para nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y azufre, en las mismas de las dosis de fertilización con N, dependieron de las sustancias húmicas. Bajo condiciones del suelo, del clima y de la edad de las plantas, no es necesario la fertilización nitrogenada de chirimoya, si las sustancias húmicas fueron utilizadas. Las sustancias húmicas afectaron positivamente la absorción de nitrógeno.

**Palabras clave:** *Annona squamosa*, nutrición vegetal, ácidos húmicos.

## Introduction

Custard apple (*Annona squamosa*) also known as sugar apple and sweetsop is the most widely distributed and the most commonly grown *Annona* species in the tropical regions of the America, Africa, Asia and the Pacific (Paull and Duarte, 2011). In addition, custard apple is most economically important species among *Annona* species, especially in northeast and southeast Brazilian regions where it was commercially exploited (Carvalho *et al.*, 2000).

Fertilizing management has been one important agronomic technique for custard apple plants that, in a general form, extract high nutrient contents from soil. Among all nutrients, the nitrogen presents fundamental importance because it is part of amino acids, proteins and nucleic acids that limit plant growth and yield, since it is required in all phases of plant development (Marschner, 2005). Indeed, nitrogen uptake by plant roots is directly affected by soil, plant and environmental factors, among them humic substances (Finzi *et al.*, 2007).

Humic substances present a complex mixture of organic biopolymers resulting from decomposition processes of organic material such as remnants of plant and

## Introducción

Chirimoya (*Annona squamosa*), es la especie *Annona* más común y con mayor distribución las regiones tropicales de América, África, Asia y el Pacífico (Paull y Duarte, 2011). Además, la chirimoya es más importante desde el punto de vista económico entre las especies *Annona*, especialmente en el noreste y sureste de Brasil, regiones donde se explota comercialmente

El manejo de la fertilización ha sido una importante técnica agronómica para las plantas de chirimoya que de forma general, extrae el alto contenido de nutrientes del suelo. Entre todos los nutrientes, el nitrógeno tiene gran importancia ya que forma parte de los aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos que limitan el crecimiento de las plantas y el rendimiento, necesario en todas las fases del desarrollo de las mismas (Marschner, 2005). De hecho, la absorción de nitrógeno por las raíces de las plantas se ve afectada directamente por el suelo, planta y factores ambientales, entre ellos las sustancias húmicas (Finzi *et al.*, 2007).

Las sustancias húmicas presentan una mezcla compleja de biopolímeros orgánicos resultantes de procesos de la descomposición de ma-

animal materials (Shevchenko, 2008). These substances were considered to increase the permeability of plant membranes and enhance nutrient root uptake, detaching that humic substances improve soil nitrogen uptake and enhance potassium, calcium, magnesium and phosphorus root uptake, because these substances modifies nutrient mobility and availability for root system (Rosa *et al.*, 2011).

Applications of humic substances to fruit species are scarcely reported in the scientific literature. However, some investigations have been conducted in grape (*Vitis vinifera*) (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2006); guava (*Psidium guajava*) (Dantas *et al.*, 2007), papaya (*Carica papaya*) (Cavalcante *et al.*, 2011), watermelon (*Citrullus lanatus*) (Silva-Matos *et al.*, 2012), passion fruit (*Passiflora edulis*) (Cavalcante *et al.*, 2013) and, specifically, custard apple (*A. squamosa*) (Cavalcante *et al.*, 2012a). According to Ferrara and Brunetti (2008), a variability of results has been observed in studies about these substances, which can be attributed to the different humic substances sources used, the different concentrations tested, and the different times of application.

Nevertheless, the effect de humic substances on custard apple nutritional status, especially under combination with nitrogen fertilizing, has been poorly quantified; and, adversely, no standardized foliar levels of nutrients have been established yet for custard apple despite Araújo (2007) and Silva *et al.* (2009) admit adequate ranges.

terial orgánico, como por ejemplo, restos de plantas y materiales de animales (Shevchenko, 2008). Estas sustancias eran consideradas para aumentar la permeabilidad de las membranas de la planta y para realzar la absorción del nutriente en la raíz. Tal desprendimiento de sustancias húmicas mejoran la absorción del nitrógeno en el suelo, al igual que el potasio, calcio, magnesio y fósforo, y la absorción de la raíz, ya que estas sustancias modifican la movilidad de los nutrientes y la disponibilidad del sistema de la raíz (Rosa *et al.*, 2011).

Hay muchos estudios en relación a la aplicación de las sustancias húmicas a especies frutales. Sin embargo, algunas investigaciones se han llevado a cabo en uva (*Vitis vinifera*) (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2006); guayaba (*Psidium guajava*) (Dantas *et al.*, 2007), lechosa (*Carica papaya*) (Cavalcante *et al.*, 2011), patilla (*Citrullus lanatus*) (Silva-Matos *et al.*, 2012), parchita (*Passiflora edulis*) (Cavalcante *et al.*, 2013) y específicamente en chirimoya (*A. squamosa*) (Cavalcante *et al.*, 2012a). De acuerdo a Ferrara y Brunetti (2008), existe una variedad de resultados en estudios realizados sobre estas sustancias, las cuales pueden ser atribuidas a las diferentes sustancias húmicas que fueron utilizadas, junto con las diferentes concentraciones probadas, y los diferentes momentos de aplicación.

No obstante, el efecto de las sustancias húmicas en el estado nutricional de la chirimoya, especialmente junto con la fertilización con nitrógeno, ha sido poco cuantificado, y todavía no se han establecido ningún nivel foliar de los nutrientes en chirimoya a pesar que Araujo (2007) y Sil-

In this sense, the present study aimed to evaluate the nutritional status of custard apple (*Annona squamosa*) as a function of nitrogen fertilizing and humic substances in Brazil.

## Material and methods

### Plant material and growth conditions

Custard apple (*A. squamosa*) plants of five years old, propagated by seeds from one mother plant, were used in this study. The study was carried out from December 2010 to November 2011 (first trial) and from June 2011 to November 2011 (second trial) on "Campus Profa. Cinobelina Elvas", Federal University of Piauí, Bom Jesuscounty, Piauí State, Brazil, which is located at 09°04'28" LS, 44°21'31" LW and altitude of 277 m.

The physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was developed are in table 1, while climatic data of air temperature and air humidity (thermo-Hygrometer Instrutemp, Brazil) which were recollected during the execution of the experiments are shown in figure 1.

Plants, spaced 4 m between rows and 3 m between plants, were daily drip-irrigated with one self-regulating emitters at each 0.5 mm for a flow of 2.8 L.h<sup>-1</sup>. Pruning was performed following instructions of Araújo (2003).

The liming was performed located in the area of canopy projection, with 1500 kg.ha<sup>-1</sup> or 1.80 kg.plant<sup>-1</sup> at 60 days before the beginning of the experiment and all

va *et al.* (2009) reconocen que hay rangos adecuados.

En este sentido, el objetivo de esta investigación es evaluar el estado nutricional de la chirimoya (*Annona squamosa*) como producto de la fertilización con nitrógeno y el uso de sustancias húmicas en Brasil.

## Materiales and métodos

### Material vegetal y condiciones de crecimiento

Se utilizaron plantas de chirimoya (*A. squamosa*) de cinco años de edad, propagadas por semilla desde una planta madre. La investigación se llevó a cabo desde Diciembre de 2010 a Noviembre de 2011 (primer ensayo), y desde Junio de 2011 a Noviembre 2011 (segundo ensayo), en el campo "Profesora Cinobelina Elvas", en la Universidad Federal de Piauí, municipio Jesus, estado Piauí, Brasil; localizada geográficamente a 09°04'28" LS, 44°21'31" LO y a una altitud de 277 m.

Las características físico-químicas del suelo donde se llevó a cabo el experimento se observan en el cuadro 1. La información climática de la temperatura del aire y la humedad del aire (thermo-Hygrometer Instrutemp<sup>o</sup>, Brazil) recolectada durante la ejecución de los experimentos, se presentan en la figura 1.

Las plantas, com un espaciado de 4 m entre hileras y 3 m entre plantas, se regaron diariamente mediante riego por goteo, utilizando emisores autorreguladores cada 0,5 mm para un caudal de 2,8 L.h<sup>-1</sup>. La poda se realizó siguiendo las instrucciones de Araújo (2003).

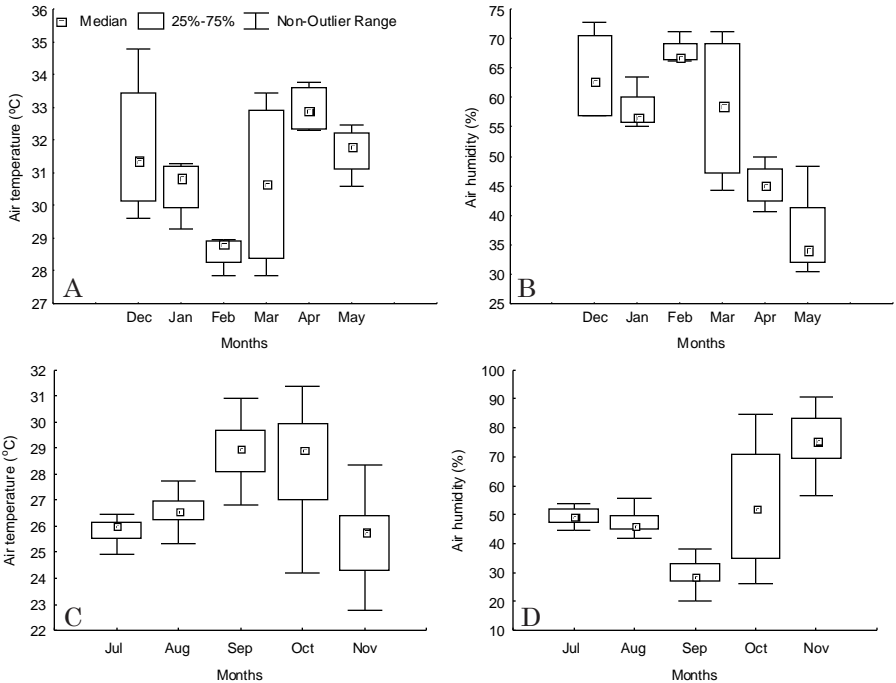
**Table 1. Chemical and physical characteristics of the soil used in the experiment (0-20 cm soil depth) in Brazil (Bom Jesus, PI).****Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo usado en el experimento (0-20 cm de la profundidad del suelo) en Brasil (Bom Jesus, PI).**

Soil characteristics	Value
pH (in water)	4.2
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1.1
Mg <sup>2+</sup>	0.4
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	1.5
Al <sup>3+</sup>	0.5
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	3.4
CEC	5.0
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	5.0
K (mEq.100 cm <sup>-3</sup> )	0.13
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	52
	%
Organic Matter	1.6
N	0.10
C organic	1.55
Al <sup>3+</sup> saturation	25
Basis saturation	32
	%
Clay	39
Silt	10
Sand	51

P, K: Melich 1; H + Al: calcium acetate (extractor) 0.5M, pH 7; Al, Ca, Mg: KCl 1M extractor; CEC: cationic exchangeable capacity.

plants were fertilized with 120 g of K<sub>2</sub>O (potassium chloride, 60% of K<sub>2</sub>O) at 30, 60 and 90 days after pruning, and 120 g of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (triple superphosphate, 42% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) at 30 days after pruning. The fertilization was performed located in the area of canopy projection according

El encalado se realizó en el área de la proyección forestal con 1500 kg.ha<sup>-1</sup> o 1.80 kg.planta<sup>-1</sup> a los 60 días antes de iniciar el experimento, igualmente, todas las plantas se fertilizaron con 120 g de K<sub>2</sub>O (cloruro de potasio, 60% de K<sub>2</sub>O) a 30, 60 y 90 días



**Figure 1. Dispersion diagram of air temperature and air humidity during the execution of the experiments. Note: (A and B - first trial; C and D - second trial).**

**Figura 1. Diagrama de dispersión de la temperatura del aire y de la humedad del aire durante la ejecución del experimento. Nota: (A y B - primer ensayo; C y D - segundo ensayo).**

with recommendations of fertilizing and liming to the state of Ceará, Brazil (Fernandes, 1993).

The nitrogen source used was urea (45% of N), monthly applied (four fertilizings), defined according to (Fernandes, 1993) while humic substances used in the experiment were extracted from leonardite and the source adopted was Humitec®, which complete composition is humic extract (16.5%), organic carbon (11.2%), humic acids (13.2%) and fulvic acids (3.3%). Humic substances followed recommendations of the

después de la poda y 120 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (triple superfosfato, 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a los 30 días después de la poda. La fertilización se realizó en el área de proyección forestal, de acuerdo con las recomendaciones del estado de Ceará, Brasil (Fernandes, 1993) con relación a la fertilización y encalado.

La urea se utilizó como fuente de nitrógeno (45% de N), aplicada mensualmente (cuatro fertilizaciones) definida según (Fernandes, 1993), mientras que las sustancias húmicas utilizadas en el experimento fueron extraídas de Leonardita y adoptó la fuen-

producer, i.e., 30 mL diluted in 3 L of water per plant at 60 days after pruning, reaching two applications during the experiment, and 6.72 g of organic carbon per plant.

### **Treatments and experimental design**

The experimental design was randomized blocks with treatments distributed in a factorial arrangement (4 x 2) referring to nitrogen doses (0, 100, 175 e 250 g of N.plant<sup>-1</sup>) and humic substances application (with and without humic substances), with four replications.

### **Variables recorded and statistical analyzes**

For leaf content analyzes, four replicates of 20 leaves (in each repetition, five leaves per plant) were taken from normal shoots from the middle part of the canopy, during fruit harvest. According to recommendations of Araújo-Filho *et al.* (1998) the fourth or fifth leaf from the apex of not productive shoots were collected to perform the nutritional analysis.

Leaves were chemically analyzed after they were washed and rinsed with distilled water and dried at 65°C until reach constant weight following methodology described by Malavolta *et al.* (1997). The nitrogen contents were determined by the Kjeldahl method and the P contents determined by the molybdenum blue method. The K, Ca, and Mg contents were determined by atomic absorption spectrophotometry and the S contents were measured by turbidometry.

Statistical analyses included analysis of variance (ANOVA), mean separation of humic substances using

te Humitec<sup>®</sup>, cuya composición es extracto húmico (16.5%), carbón orgánico (11,2%), ácidos húmicos (13,2%) y ácidos fúlvicos (3.3%). Las sustancias húmicas siguieron las recomendaciones del fabricante, es decir, 30 mL diluido en 3 L de agua por planta 60 días después de la poda, alcanzando dos aplicaciones durante el experimento y 6,72 g de carbono orgánico por planta.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con tratamientos distribuidos en un diseño factorial (4 x 2), con dosis de nitrógeno (0, 100, 175 y 250 de N.planta<sup>-1</sup>) y la aplicación de sustancias húmicas (con y sin sustancias húmicas), con cuatro aplicaciones.

### **Variables y análisis estadístico**

Para el análisis del contenido foliar, se realizaron cuatro replicados en 20 hojas (cinco hojas por planta en cada repetición) tomadas de brotes normales de la parte media del dosel durante la cosecha de la fruta. Se recolectaron las cuartas y quintas hojas del ápice de brotes sin producción para realizar el análisis nutricional, de acuerdo a las recomendaciones de Araújo-Filho *et al.* (1998).

Las hojas fueron analizadas químicamente, luego se lavaron y enjuagaron con agua destilada y secaron a 65°C hasta alcanzar un peso constante, siguiendo la metodología descrita por Malavolta *et al.* (1997). El contenido de nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl y el contenido de P se determinó por el método de azul de molibdeno. Los contenidos de K, Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómi-

Tukey test and regression analysis of nitrogen doses using Sigmaplot software. Terms were considered significant at  $P < 0.01$ .

## Results and discussion

As can be seen in table 2, nitrogen levels significantly affected the leaf contents of nitrogen (N), potassium (K) magnesium (Mg) and sulfur (S) while only N was statistically influenced by humic substances. In addition, significant interactions between N levels and humic substances were registered for all nutrients evaluated in the study, except for phosphorus (P).

The use of humic substances on soil increased 3.80% the nitrogen foliar contents of custard apple in relation to plants not treated with humic substances (table 2). This result is in agreement with Eyheraguibel *et al.* (2008) and Asik *et al.* (2009), who registered enhancements on leaf nitrogen of nearly 21% and 27%, respectively, promoted by humic substances applied on soil. The positive effect of humic substances on N uptake could be explained by Keeling *et al.* (2003), who found that humic substances can enhance the root N uptake as ammonium nitrate form and, accordingly, Quaggiotti *et al.* (2004) concluded that humic substances stimulates nitrate uptake.

The leaf N contents as a function of top-dressing N doses presented the same data distribution, independently of humic substances use, i.e., increase from non fertilized plants until the 100 g N.plant<sup>-1</sup> dose, followed by a

ca y lós contenidos de S se midieron por turbidometría.

El análisis estadístico incluyó el análisis de varianza (ANOVA), la separación de las sustancias húmicas mediante la prueba de Tukey, y el análisis de regresión de dosis de nitrógeno utilizando el software de Sigmaplot. Los términos eran considerados significativos en  $P < 0,01$ .

## Resultados y discusión

Como puede observarse en el cuadro 2, los niveles de nitrógeno afectaron significativamente el contenido foliar de nitrógeno (N), potasio (K) magnesio (Mg) y azufre (S) mientras que N fue estadísticamente influenciado por las sustancias húmicas. Además, se registraron interacciones significativas entre los niveles de N y sustancias húmicas en todos los nutrientes evaluados en el estudio, con excepción de fósforo (P).

El uso de las sustancias húmicas en suelo aumentó 3,80% el contenido foliar de nitrógeno de chirimoya en lo referente a las plantas no tratadas con sustancias húmicas (cuadro 2). Este resultado coincide con Eyheraguibel *et al.* (2008) y Asik *et al.* (2009), quien registró mejoras en nitrógeno foliar de casi 21% y 27%, respectivamente, promovido por las sustancias húmicas aplicadas en el suelo.

El efecto positivo de las sustancias húmicas en la absorción de N podría explicarse por Keeling *et al.* (2003), quienes encontraron que las sustancias húmicas pueden mejorar la absorción de N en la raíz como forma de nitrato de amonio y, en consecuencia, Quaggiotti *et al.* (2004) concluyó



**Table 2. Foliar contents of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) of custard apple plants as a function of humic substances and nitrogen fertilizing in Brazil (Bom Jesus, PI).**

**Cuadro 2. Contenido foliar de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en plantas de chirimoya, como resultado del uso de sustancias húmicas y fertilización nitrogenada en Brasil (Bom Jesus, PI).**

Source of variation	g.kg <sup>-1</sup>					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Doses of N	518.95 **	2.18 ns	17.28 **	1.89 ns	5.82 **	24.37 *
Humic substances (HSs)	122.40 **	1.54 ns	1.39 ns	3.27 ns	2.43 ns	0.44 ns
Without	23.30 <sup>b</sup>	1.20 a	13.40 <sup>a</sup>	15.20 <sup>a</sup>	2.60 a	1.60 <sup>a</sup>
With	24.20 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>	12.70 <sup>a</sup>	13.30 <sup>a</sup>	2.80 a	1.50 <sup>a</sup>
SMD	0.02	0.01	0.12	0.22	0.03	0.01
Interaction (N x HSs)	207.79 **	2.18 ns	11.03 **	13.25 **	4.88 **	8.69 **
V.C.	0.98	9.30	11.95	20.58	15.38	11.87

SMD = significant minimum difference; n.s. = non significant; V.C. = variation coefficient\* = significant at P?0.05 probability of error; \*\* = significant at P≤0.01probability error. Averages data followed by different letters in columns are significantly different according to Tukey test (P≤0.01).

progressive decreasing with the enhancement of N doses applied (figure 2A e 2B).

Independently of humic substances use, higher mean values of leaf N ( $27 \text{ g.kg}^{-1}$ ) are lower than  $32 \text{ g.kg}^{-1}$  obtained by Araújo (2007), although substantially higher the  $15\text{-}20 \text{ g.kg}^{-1}$  range reported by Silva *et al.* (2009) in study with different custard apple progenies, but no visual toxic or deficiency symptoms were observed in the present study.

Phosphorus foliar contents were not significantly affected by both factors studied in a general form (table 2). The lack of statistical difference for humic substances could be caused by the high P soil level, according to Fernandes (1993), because the nutrient uptake increasing of K, Ca and P was identified by Eyheraguibel *et al.* (2008) under low soil values of these elements. Higher mean values P foliar contents ( $1.3 \text{ g.kg}^{-1}$ ) are higher than  $1.13 \text{ g.kg}^{-1}$  found by Ojha *et al.* (2008) and the range from 2.10 to  $4.10 \text{ g.kg}^{-1}$  reported by Silva *et al.* (2009).

In a general form, K foliar contents of custard apple were not affected by humic substances (table 2) probably due to the high K soil level before the experiment, according to Fernandes (1993). Adversely, Tahir *et al.* (2011) argue that the responses observed to the increase of cations uptake in most cases are positive.

Potassium foliar contents in custard apple plants grown without humic substances increased 38.58% from  $0 \text{ g of N.plant}^{-1}$  to  $175 \text{ g of N.plant}^{-1}$ , followed by a decrease until  $250 \text{ g of N.plant}^{-1}$  (figure 1C), showing that a

que las sustancias húmicas estimula la absorción del nitrato.

El contenido foliar de N en función de la dosis de N, presentó la misma distribución de datos, independientemente del uso de las sustancias húmicas, es decir, incremento de plantas no fertilizadas hasta una dosis de  $100 \text{ g N.plant}^{-1}$ , seguida por una disminución progresiva con la mejora de las dosis de N aplicada (figura 2A y 2B).

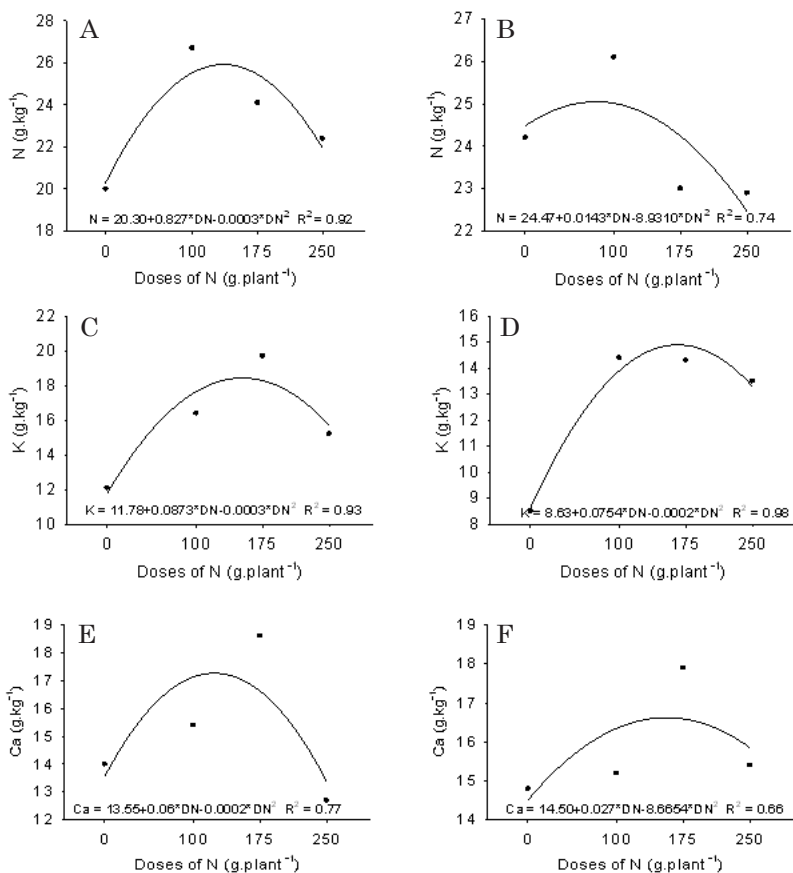
Independientemente del uso de las sustancias húmicas, los valores más altos de N en la hoja ( $27 \text{ g.kg}^{-1}$ ) son inferiores a los  $32 \text{ g.kg}^{-1}$  obtenidos por Araújo (2007), aunque sustancialmente mayores a  $15\text{-}20 \text{ g.kg}^{-1}$  reportado por Silva *et al.* (2009), en un estudio con diferentes géneros de chirimoya; sin embargo, en este estudio no se observaron síntomas de toxicidad o de deficiencia.

El contenido foliar de fósforo no se vio afectado significativamente por ambos factores estudiados de forma general (cuadro 2). La falta de diferencias estadísticas para las sustancias húmicas podría deberse al alto nivel de P en suelo, de acuerdo a Fernandes (1993), porque el aumento de la absorción de los nutrientes de K, Ca y P fue identificado por Eyheraguiber *et al.* (2008) en suelos con bajo valores estos elementos. Los valores medios de los contenidos foliares de P ( $1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ ) son más altos que  $1,13 \text{ g.kg}^{-1}$  encontrados por Ojha *et al.* (2008) y el rango de 2,10 a  $4,10 \text{ g.kg}^{-1}$  reportados por Silva *et al.* (2009).

De forma general, el contenido foliar de K de la chirimoya no fue afectado por las sustancias húmicas (cuadro 2) probablemente debido al alto nivel de K en el suelo antes del experi-

slight antagonistic response of K indicates that much of the K uptake under 250 g of N.plant<sup>-1</sup> was luxury consumption or, alternatively, the

mento, según Fernandes (1993). Negativamente, Tahir *et al.* (2011) sostiene que las respuestas observadas referente al incremento de la absorción



**Figure 2. Nitrogen (A and B), potassium (C and D), and calcium (E and F) foliar contents of custard apple plants as a function of humic substances and nitrogen fertilizing in Brazil (Bom Jesus, PI). Note: A, C, E: without humic substances; B, D, F: with humic substances.**

**Figura 2. Contenido foliar de Nitrógeno (A y B), potasio (C y D) y calcio (E y F) en plantas de chirimoya con sustancias húmicas y fertilización nitrogenada en Brasil (Bom Jesus, PI). Nota: A, C, E: sin sustancias húmicas; B, D, F: con sustancias húmicas.**

potassium root uptake was affected by the not so high custard apple exigency for nitrogen, since Farrokh and Farrokh (2012) argue that the quantity of absorbed potassium depends on needed plant nitrogen.

On the other hand, for plants that received humic substances, the K foliar content increased 49.97% from 0 to 100 g of N.plant<sup>-1</sup>, stabilizing with N dose increase (figure 1D). This way, Li *et al.* (2009) reported that combined application of K and N had a remarkable positive reciprocal effect on crops, and was an important approach in improving potassium use efficiency, explaining the data distribution of Figure 1D because the N foliar contents are significantly enhanced by humic substances (Nikbakht *et al.*, 2008) what may have also increased potassium uptake. Accordingly, Magen and Nosov (2008) emphasize that scientific findings showing the interaction between nitrogen and potassium are well known, imbalanced fertilization or soil NK discrepancies often leads to suboptimal levels of potassium use efficiency.

High estaverage values of leaf K (19.7 g.kg<sup>-1</sup>), independently of humic substances, were greater than 13.71 g.kg<sup>-1</sup> reported by Cavalcante *et al.* (2012b) and 6.0 g.kg<sup>-1</sup> obtained by Araújo (2007), and substantially higher than range from 6.0 to 9.2 g.kg<sup>-1</sup> reported by Silva *et al.* (2009) in study with different custard apple progenies.

In spite of Ca, no significant of N doses or humic substances were registered (table 2). The lack of significant difference for humic substances could be caused by the high

de cationes, fueron en la mayoría de los casos positivas.

El contenido foliar de potasio en plantas de chirimoya cultivadas sin sustancias húmicas aumentó 38,58% de 0 g de N.planta<sup>-1</sup> a 175 g de N.planta<sup>-1</sup>, seguido por una disminución de hasta 250 g de N.planta<sup>-1</sup> (figura 1C), mostrando que una leve respuesta antagónica de K indica que gran parte de la absorción de K menor a 250 g de N.planta<sup>-1</sup> representa un consumo extra o, la absorción del potasio en la raíz fue afectada por la exigencia, no tan alta, de nitrógeno de La chirimoya, Farrokh y Farrokh (2012) argumentan que la cantidad de potasio absorbida depende de la necesidad de nitrógeno de la planta.

Por otra parte, en las plantas que recibieron las sustancias húmicas, el contenido foliar de K aumentó 49,97% de 0 a 100 g de N.planta<sup>-1</sup>, estabilizando con un aumento en la dosis de N (figura 1). De esta manera, Li *et al.* (2009) informó que la aplicación combinada de K y N tuvo un efecto positivo notable y recíproco en cultivos, y fue importante para mejorar la eficiencia del uso del potasio, explicandose la distribución de datos en la figura 1, ya que el contenido foliar de N mejora significativamente por las sustancias húmicas (Nikbakht *et al.*, 2008) lo que puede haber aumentado también la absorción de potasio. En consecuencia, Magen y Nosov (2008) destacan que los hallazgos científicos indican que la interacción entre el nitrógeno y potasio son conocidas, y que una fertilización desequilibrada o una discrepancia de NK en el suelo, normalmente conduce a niveles sub-óptimos del uso eficiente de potasio.

Ca soil level according to Rajj (1991), since the nutrient uptake increase of K, Ca, and P was identified by Eyheraguibel *et al.* (2008) under low soil values of such nutrients. Highest average values of leaf Ca ( $18.6 \text{ g.kg}^{-1}$ ) were notable greater than  $14.3 \text{ g.kg}^{-1}$  verified by Araújo (2007), but compatible to average results of Cavalcante *et al.* (2012b) and below 12.2 to  $17.9 \text{ g.kg}^{-1}$  range described by Silva *et al.* (2009) in study with custard apple progenies.

It is important to infer that Ca contents, with humic substances use, decreased 14.44% from 175 to 250 g of N.plant<sup>-1</sup> (figure 2F), while, under the same conditions, the Mg foliar content increased 1.05% (figure 3B). Probably the known antagonism of calcium on magnesium explains this result because according with Marschner (2005), cations as K<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> compete quite effectively with Ca<sup>2+</sup> for binding sites at the plasma membrane, i.e., the increase of magnesium could have reduced calcium uptake and, consequently, the foliar content of this nutrient.

Magnesium foliar contents in plants without humic substance increased 42.43% with N dose increase until 175 g of N.plant<sup>-1</sup> and then decreased until 250 g of N.plant<sup>-1</sup> (figure 3A). The use of humic substances promoted an exponential foliar Mg increase from 0 to 250 g of N.plant<sup>-1</sup> showing average values of  $2.90 \text{ g.kg}^{-1}$  for the maximum N dose. The highest Mg foliar averages ( $3.3 \text{ g.kg}^{-1}$ ) observed for plants treated with humic substances were higher than  $2.9 \text{ g.kg}^{-1}$  obtained by Araújo (2007), although drastically below 6.0 to  $8.2 \text{ g.kg}^{-1}$  range verified by Silva *et al.* (2009).

Los valores altos de K foliar ( $19,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ), independientemente de las sustancias húmicas, fueron mayores que  $13,71 \text{ g.kg}^{-1}$  reportados por Cavalcante *et al.* (2012b) y  $6,0 \text{ g.kg}^{-1}$  obtenidos por Araújo (2007) y substancialmente más altos que el rango de 6,0 a  $9,2 \text{ g.kg}^{-1}$  reportados por Silva *et al.* (2009), en un estudio con diferentes géneros de chirimoya.

A pesar de Ca, no se registraron dosis significativas de N ni de sustancias húmicas (cuadro 2). La falta de diferencia significativa para las sustancias húmicas podría ser causada por el alto nivel de Ca en el suelo, según Rajj (1991), debido a que el aumento de la absorción de los nutrientes de K, Ca y P fue identificado por Eyheraguibel *et al.* (2008) con bajos valores de los nutrientes. Los foliares valores promedio más altos de Ca ( $18,6 \text{ g.kg}^{-1}$ ) fueron mayores que  $14,3 \text{ g.kg}^{-1}$  verificado por Araújo (2007), pero compatible con los resultados de Cavalcante *et al.* (2012b) y por debajo de 12,2 a  $17,9 \text{ g.kg}^{-1}$  descrito por Silva *et al.* (2009) en un estudio llevado a cabo con diferentes géneros de chirimoya.

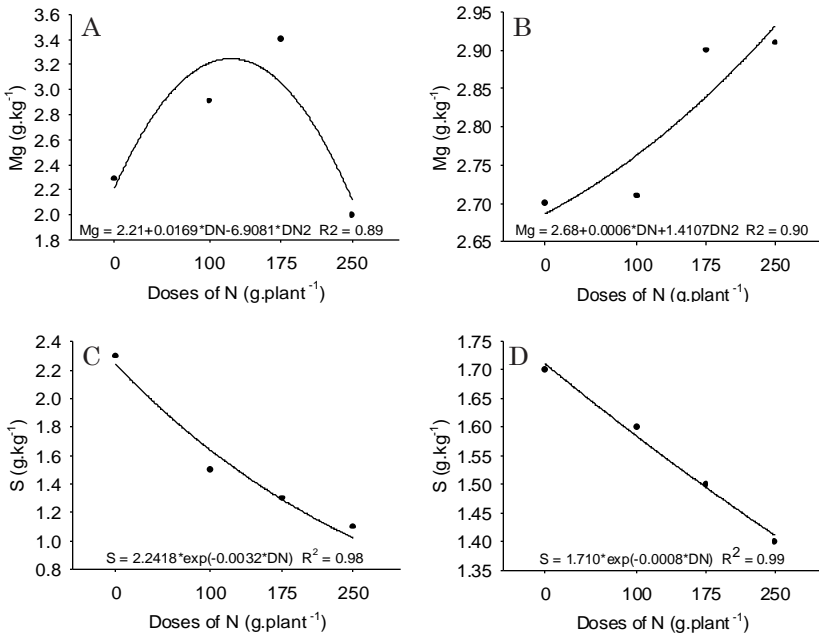
Es importante inferir que el contenido de Ca, con el uso de las sustancias húmicas, disminuyó 14,44% de 175 a 250 g de N.planta<sup>-1</sup> (figura 2F), mientras que, en las mismas condiciones, el contenido foliar de Mg aumentó 1,05% (figura 3B). Probablemente el famoso antagonismo de calcio en magnesio explica este resultado porque según Marschner (2005), cationes como K y Mg<sup>2+</sup> compiten muy eficazmente con Ca<sup>2+</sup> por sitios de unión a la membrana plasmática, es decir, el aumento de magnesio podría haber reducido la absorción de calcio y, en

Sulfur foliar contents were not significantly influenced by humic substances (table 2). Probably the humic substances enhanced the content of N in plants inhibiting the sulfur uptake, as previously reported by Marschner (2005).

Nitrogen dose enhancement decreased sulfur foliar contents of custard apple plants, independently of humic substances use (figure 3 A and 3B) with reduction of 50.53% (without humic substances) and 18.08% (with humic substances). This situation

consecuencia, el contenido foliar de este nutriente.

El contenido foliar de magnesio en las plantas sin sustancia húmica incrementó 42.43% con un aumento de la dosis de N hasta 175 g de N.planta<sup>-1</sup> y luego disminuyó hasta 250 g de N.planta<sup>-1</sup> (figura 3A). El uso de las sustancias húmicas promovió un incremento exponencial de Mg foliar de 0 a 250 g de N.planta<sup>-1</sup>, mostrando valores promedio de 2,90 g.kg<sup>-1</sup> para la dosis máxima de N. Los promedios más altos de Mg foliar (3,3 g.kg<sup>-1</sup>) ob-



**Figure 3. Magnesium (A and B) and sulfur (C and D) foliar contents of custard apple plants as a function of humic substances and nitrogen fertilizing in Brazil (Bom Jesus, PI). Note: A, C, E: without humic substances; B, D, F: with humic substances.**

**Figura 3. Contenido foliar de Magnesio (A y B) y azufre (C y D) en plantas de chirimoya, con sustancias húmicas y fertilización nitrogenada en Brasil (Bom Jesus, PI). Nota: A, C, E: sin sustancias húmicas; B, D, F: con sustancias húmicas.**

occurred due the high N availability for plants inhibiting sulphur uptake (Marschner, 2005). Accordingly, Barker and Pilbeam (2007) argue that sulfur deficiency was expressed moderately at low nitrogen levels but extremely with a high nitrogen supply, that could be happen in the present study and explains the enhancement of foliar sulfur decrease after nitrogen fertilizing.

In a general form, instead of the high ranges registered for all nutrient studied, no visual toxic or deficiency symptoms were observed in the present study.

## Conclusions

Thus, the results of this study indicate that: (i) custard apple foliar contents of nitrogen, potassium, calcium, magnesium and sulphur, under the same N fertilizing doses, depend on humic substances; (ii) under soil, climate and plant age conditions, it was not necessary nitrogen fertilization for custard apple growing, whether humic substances were used; and (iii) humic substances positively affected nitrogen absorption.

## Literature cited

- Araújo, J.F. 2003. A cultura da pinha. EBDA. Bahia, Brazil. 79 p.
- Araújo, J.F. 2007. Adubação organo mineral e biofertilização líquida na produção da Pinha (*Annona squamosa* L.) no submédio do São Francisco. DSc. Thesis. São Paulo State University. 115 p.
- Araújo-Filho, G.C., O.M.S. Andrade, F. Castro y F.T. SA. 1998. Instruções técnicas para o cultivo da ateira.

servado para las plantas tratadas con sustancias húmicas fueron superiores a 2,9 g.kg<sup>-1</sup> obtenida por Araújo (2007), aunque drásticamente por debajo de 6.0 a 8.2 g.kg<sup>-1</sup> observado por Silva *et al.* (2009).

Los contenidos foliares de azufre no fueron significativamente influenciado por las sustancias húmicas (cuadro 2). Probablemente las sustancias húmicas mejoraron el contenido de N en plantas, inhibiendo la absorción de azufre, según Marschner (2005).

La mejora de la dosis de nitrógeno disminuyó el contenido foliar del azufre en las plantas de chirimoya, independientemente del uso de las sustancias húmicas (figuras 3A y 3B) con reducción de 50,53% (sin sustancias húmicas) y 18,08% (con las sustancias húmicas). Esta situación se produjo debido a la alta disponibilidad de N para plantas de inhibir la absorción de azufre (Marschner, 2005).

En consecuencia, Barker y Pilbeam (2007) sostienen que la deficiencia de azufre se expresó moderadamente en los niveles de nitrógeno pero extremadamente con una alta fuente de nitrógeno, que podría estar ocurriendo en el presente estudio y explicaría la mejora de la disminución de azufre foliar después de la fertilización de nitrógeno.

En forma general, en lugar de los altos valores registrados para todos los nutriente estudiados, no se observo toxicidad o sintomas de deficiencia.

## Conclusiones

Los resultados de esta investigación indican que: (i) los contenidos

Agroindústria Tropical (Instruções Técnicas). Ceará, Brazil. p.1-9.

- Asik, B.B., M.A. Turan, H. Celik y A.V. Katkat. 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salili) under conditions of salinity Asian J. Crop Sci. 1(2):87-95.
- Barker, A.V. y D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. Taylor and Francis. New York, USA. 613 p.
- Carvalho, A.M.J.C., D.P. Martins, P.H. Monnerat y S. Bernardo. 2000. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro-amarelo: Produtividade e qualidade dos frutos. Pesq. Agropec. Bras. 35(6):1101-1108.
- Cavalcante, I.H.L., M.S. Cunha, M.Z. Beckmann-Cavalcante, J.A. Osajima y J.S.N. Souza. 2012a. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf nitrogen concentration in custard apple. Philipp. J. Crop. Sci. 37(3):7-11.
- Cavalcante, Í.H.L., R.R.S. Silva, F.G. Albano, F.N. Lima y A.S. Marques. 2011. Foliar spray of humic substances on seedling production of papaya. J. Agron. 10(4):118-122.
- Cavalcante, I.H.L., R.R.S. Silva-Matos, F.G. Albano, G.B. Silva Jr, A.M. Silva y L.S. Costa. 2013. Foliar spray of humic substances on seedling production of yellow passion fruit. J. Food. Agric. Environ. 11(2): 301-304.
- Cavalcante, L.F., W.E. Pereira, C.R.S. Curvêlo, J.A.M. Nascimento y Í.H.L. Cavalcante. 2012b. Estado nutricional de pinheira sob adubação orgânica do solo. Rev. Ciênc. Agron. 43(3):579-588.
- Dantas, B.F., M.S. Pereira, L.S. Ribeiro, J.L.T. Maia y L.H. Bassoi. 2007. Effect of humic substances and weather conditions on leaf biochemical changes of fertirrigated guava tree, during orchard establishment. Rev. Bras. Frutic. 29(3):632-638.
- Eyheraguibel, B., J. Silvestre y P. Morand. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. foliares de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y azufre em chirimota, bajo las mismas dosis de fertilización N, depende de las sustancias húmicas; (ii) bajo condiciones de suelo, clima y edad de la planta, no se necesitó la fertilización nitrogenada para el cultivo de la chirimoya, si se usaron sustancias húmicas; y (iii) las sustancias húmicas afectaron positivamente la absorción de nitrógeno.
- Fin de la versión español
- 
- Bioresour. Technol. 99(10):4206-4212.
- Farrokh, A.R. y A. Farrokh. 2012. Effect of nitrogen and potassium on yield, agronomy efficiency, physiological efficiency and recovery efficiency of nitrogen and potassium in flue cured tobacco. Intl. J. Agri. Crop Sci. 4(12):770-778.
- Fernandes, U.L.B. 1993. Manual de recomendação de adubação e calagem para o estado do Ceará. Banco do Nordeste, Fortaleza, Brazil. 248 p.
- Ferrara, G. y G. Brunetti. 2008. Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of Table grape cv. Itália. J. Int. Sci. Vigne. Vin. 42(2):79-87.
- Finzi, A.C., R.J. Norby, C. Calfapietrad, A. Gallet-Budyneka, B. Gielene, W.E. Holmesf, M. R. Hoosbeekg, C.M. Iversenh, R.B. Jacksoni, M.E. Kubiskej, J. Ledfordc, M. Liberlooe, R. Oreni, A. Pollek, S. Pritchardl, D.R. Zakf, W.H. Schlesingerb y R. Ceulemans. 2007. Increases in nitrogen uptake rather than nitrogen-use efficiency support higher rates of temperate forest productivity under elevated CO<sub>2</sub>. Proc. Natl. Acad. Sci. 104(35):14014-14019.
- Keeling, A.A., K.R. Mccallum y C.P. Beckwith. 2003. Matunegreen waste compost enhances growth and



- nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioressour. Tecnol.* 90(2):127-132.
- Li, X., J. Lu, L. Wu y F. Chen. 2009. The difference of potassium dynamics between yellowish red soil and yellow cinnamon soil under rapeseed (*Brassica napus* L.)-rice (*Oryza sativa* L.) rotation. *Plant Soil.* 320(1-2):141-151.
- Magen, H. y V. Nosov. 2008. Putting potassium in the picture: achieving improved nitrogen use efficiency. *Bangladesh J. Agric. and Environ.* 4:115-127.
- Malavolta, E., G.C. Vitti y S.A. Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Second edition. Potafós. São Paulo, Brazil. 319 p.
- Marschner, H. 2005. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. Florida, USA. 889 p.
- Nikbakht, A., M. Kafir, M. Balabar, Y.P. Xia, A. Luo y N. Etemadi. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of Gerbera. *J. Plant Nutr.* 31(12):2155-2167.
- Ojha, S., M.R. Chakraborty, S. Dutta y N.C. Chatterjee. 2008. Influence of VAM on nutrient uptake and growth of custard-apple. *Asian J. Exp. Sci.* 22(3):221-224.
- Paull, R.E. y O. Duarte. 2011. Tropical fruits. Second edition. CAB International. London, England. 408 p.
- Quaggiotti, S., B. Ruperti, D. Pizzeghello, O. Francioso, V. Tugnoli y S. Nardi. 2004. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). *J. Exp. Bot.* 55(398):803-813.
- Raij, B.V. Fertilidade do solo e adubação. 1991. Agronômica Ceres. São Paulo, Brazil. 343 p.
- Rosa, C.M., R.M.V. Castilhos, L.C. Vahl, D.D. Castilhos, L.F.S. Pinto, E.S. Oliveira y O.A. Leal. 2009. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 33(4):959-967.
- Sánchez-Sánchez, A., J. Sánchez-Andreu, M. Juárez, J. Jordá y D. Bermúdez. 2006. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *J. Plant Nutr.* 29(2): 259-272.
- Shevchenko, Y. 2008. Effects of biostimulators on growth and physiological reactions of vegetables - tested on cucumber (*Cucumis sativus* L.). MSc. Dissertation. Humboldt University of Berlin. 182 p.
- Silva, P.S.L., T.A. Sousa, K.H. Mariguelo, K.D.R. Lima y P.I.B. Silva. 2009. Foliar nutrient contents and fruit yield in custard apple progenies. *Caatinga* 22(3):88-93.
- Silva-Matos, R.R.S., Í.H.L. Cavaleante, G.B.S. Júnior, F.G. Albano, M.S. Cunha y M.Z. Beckmann-Cavalcante. 2012. Foliar Spray of Humic Substances on Seedling Production of Watermelon cv. Crimson Sweet. *J. Agronomy* 11(2): 60-64.
- Tahir, M.M., M. Khurshid, M.Z. Khan, M.K. Abbasi y M.H. Kazmi. 2011. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere.* 21(1):124-131.